

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-326508

(43)Date of publication of application : 16.12.1997

(51)Int.Cl.

H01L 33/00

(21)Application number : 08-142590

(71)Applicant : HITACHI LTD

(22)Date of filing : 05.06.1996

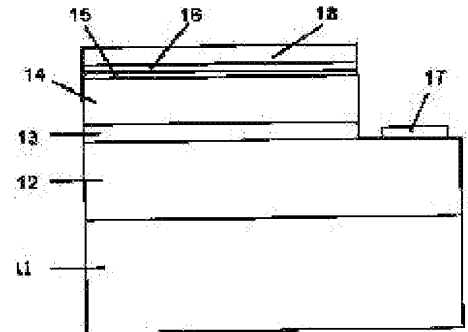
(72)Inventor : MINAGAWA SHIGEKAZU  
AKAMATSU SHOICHI  
KAWADA MASAHIKO  
GOTO JUN

## (54) SEMICONDUCTOR OPTICAL DEVICE

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To reduce contact resistance with a metallic electrode by moving holes to adjacent p-GaInN and p-GaN and increasing the hole concentration by providing a thin film of carbon added AlN, in which the hole concentration is high, near the electrode metal.

**SOLUTION:** Triethyl gallium and monosilane are made to flow over a sapphire substrate crystal 11 with ammonia and hydrogen as carrier gas and an n-GaN layer 12 is grown. Then, triethyl gallium and trimethyl indium are made to flow in ammonia gas flow and GaInN 13 is grown. They are changed into triethyl gallium and bis cyclopentadienyl magnesium and a P-GaN layer 14 is grown. Then, a carbon added p-AlN layer 15 and a p-GaInN layer 16 doped with magnesium are grown. Thus, the p-GaInN layer 16 to which holes are moved to the adjacent carbon added p-AlN layer 15 and p-GaN layer 14 and the hole concentration can be improved.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平9-326508

(43)公開日 平成9年(1997)12月16日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>

H 0 1 L 33/00

識別記号

庁内整理番号

F I

H 0 1 L 33/00

技術表示箇所

C

審査請求 未請求 請求項の数6 O L (全 5 頁)

(21)出願番号 特願平8-142590

(22)出願日 平成8年(1996)6月5日

(71)出願人 000005108  
株式会社日立製作所  
東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地  
(72)発明者 皆川 重量  
東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地  
株式会社日立製作所中央研究所内  
(72)発明者 赤松 正一  
東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地  
株式会社日立製作所中央研究所内  
(72)発明者 河田 雅彦  
東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地  
株式会社日立製作所中央研究所内  
(74)代理人 弁理士 小川 勝男

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 半導体光素子

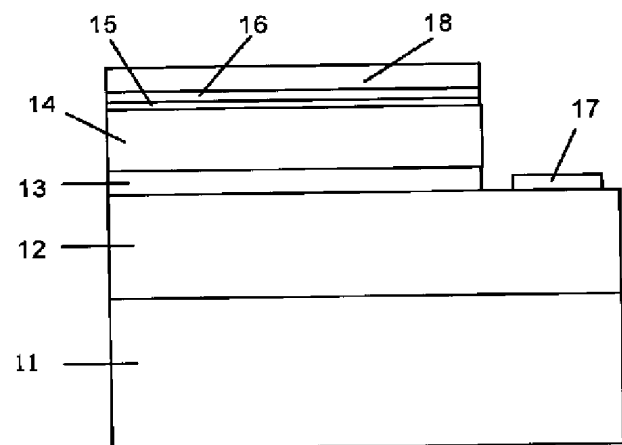
(57)【要約】

【課題】 窒化物半導体デバイスのp電極の低接触抵抗化。

【解決手段】 炭素添加AINの薄層またはこれを含む超格子層をp側金属電極の近傍に設ける。

【効果】 正孔がAIN層から隣接する結晶層に移動してこれらの層の正孔濃度を高め、もって低接触抵抗を実現する。

図 1



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 発光層を有する第1半導体領域と、該第1半導体領域上に積層された複数の半導体層からなる第2半導体領域と、該第2半導体領域上に接合された金属電極層とを含み、上記第1半導体領域及び第2半導体領域はIII-V族化合物半導体により形成され、該第2半導体領域は少なくともAl、Nを含む第1半導体層と、該第1半導体層よりAl組成比の低い第2半導体層からなり、且つ該第1半導体層にはCが添加されていることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項2】 上記第1半導体層は、AlNなる組成を有することを特徴とする請求項1記載の半導体発光素子。

【請求項3】 上記第2半導体層は、GaN及びGaNのいずれかの組成を有することを特徴とする請求項2に記載の半導体発光素子。

【請求項4】 上記第1半導体層の層厚は、上記第2半導体層の層厚より薄いことを特徴とする請求項1に記載の半導体発光素子。

【請求項5】 上記第2半導体領域は、上記第1半導体層と上記第2半導体層を交互に積層した多層膜構造を有することを特徴とする請求項1に記載の半導体発光素子。

【請求項6】 上記金属電極層は、上記第2半導体層を介して上記第2半導体領域に接合されていることを特徴とする請求項1乃至請求項5のいずれかに記載の半導体発光素子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、Al、Ga、In等のIII族元素の少なくとも1種とN、P、As、Sb等のV族元素の少なくとも1種とから組成される所謂III-V族化合物半導体からなる半導体発光素子、特にV族元素としてNを含む窒化物半導体からなる半導体発光素子において、電流供給領域の接触抵抗を低減するに好適な技術に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 Al（アルミニウム）、Ga（ガリウム）、In（インジウム）等のIII族元素の少なくとも1種とN（窒素）、P（燐）、As（砒素）、Sb（アンチモン）等のV族元素の少なくとも1種により組成される所謂III-V族化合物半導体は、発光ダイオードや半導体レーザ素子、光導波路、光スイッチ等の光素子を構成する材料として普及してきた。昨今は、V族元素としてNを含むIII-V族化合物半導体結晶（以下、窒化物半導体と呼ぶ）が半導体発光素子の材料として注目されている。

【0003】 窒化物半導体は主として可視光領域の発光素子として用いられているが、この結晶に接合される電極、特にp型の導電性を有する結晶に好適な電極材料がなかった。例えば、アプライド・フィジクス・レターズ、第62巻19号（1993年）第2390頁（App

1. Phys. Lett., Vol. 62, No. 19, (1993), pp2390）において、S. Nakamuraらは、発光ダイオードの金属電極層をp-GaN層にNi/Au（ニッケル／金）を被着して形成している。しかしながら、このような電極における接触抵抗は $0.005\Omega \cdot \text{cm}^2$ 程度である（この報告内容を以下、論文報告と称する）。

【0004】 ところで半導体光素子は、n型の半導体基板上部に活性層及びこれを挟むように形成された当該活性層より小さい屈折率を持つ光閉じ込め層からなる半導体積層領域を形成し、この領域の積層方向に電流を注入すべくp型不純物を含有する半導体層（上述のp-GaN層に相当）を当該領域上に接合して構成される。このp型半導体層はキャップ層又はコンタクト層ともよばれ、当該p型半導体層上には更に金属材料からなる電極層が接合される。このような構成の半導体発光素子において、半導体積層領域は光素子本来の機能に、p型半導体層は当該半導体積層領域に電流を供給する機能に夫々係るため、前者を光学領域、後者を電流供給領域と識別することができる。従って、上述のp型半導体層の電気抵抗低減が電極における接触抵抗を抑制する鍵となる。

【0005】 さて、半導体光素子の一つである上述の窒化物半導体からなる発光素子において、電流供給領域（即ち、p型半導体層）はGaNからなる半導体層を用いている。III族元素としてGaの組成比を高くすることは、禁制帯幅を狭め、よって接合される金属材料層から注入される電流をスムーズに光学領域に供給できるからである。さらにこのGaN層には、p型不純物としてMg（マグネシウム）が添加（ドーピング）されている。Mg元素が添加物（ドーパント）としてGaN層に導入されると、III族元素たるGaと置き換わる。このとき、MgはGaに比べて最外殻電子が1つ少ないII族元素であるため、正イオンとなり同時に電流担体（キャリア）の1つである正孔を提供する。従って、GaN層はGaNたるマクロな組成を維持しながら本来含有し得ない多量の正孔をその層中に持つことになり、その結果電気抵抗値も低減される。

【0006】 しかし、p型不純物としてMgを添加することには次のような問題が付きまとう。第1の問題は、GaN層中におけるMgの不純物レベルが深く（約150meV）、このため活性化率が1%以下と低いことである。このため、添加量を $10^{19} \sim 10^{20} \text{cm}^{-3}$ としてもGaN層中に発生する正孔は $3 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 前後に留まる。この原因として、GaN層中に含有されるH（水素）原子の存在も考えられるが、約800℃までアニールを行い、H原子を除去しても正孔濃度は上述の域を脱せない。第2の問題は添加量の上限であり、GaN層へのMgの添加量を $10^{21} \text{cm}^{-3}$ 以上に増加させるとGaN層の結晶性が急激に劣化し、クラックが発生する場合もあるということである。第3の問題は化学的性質により添加元素が限定されるということで、Mg同様II族元

素で且つ原子半径がMgに近いZn（亜鉛）やCd（カドミウム）をGaIn層に添加した場合、GaIn層は高抵抗の結晶と化すことである。

【0007】このような問題は、電流供給領域をGaIn層で構成する場合のみならず、GaInN層で構成する場合でも同様に生じる。さらに、赤色レーザ発振用素子に利用されるAlGaInPでも生じる。そして、窒化物半導体を利用した、特に緑や青という短波長のレーザ光を発振する素子において、この問題は素子の信頼性に深刻なダメージを与える。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】今後、窒化物半導体結晶を用いた発光ダイオードの微細化や集積化、あるいは半導体レーザの実用化など高性能化が推進されていく。これらの半導体光素子においては、上述の電流供給領域を構成する半導体結晶のキャリア濃度を高くして結晶自体の電気抵抗を下げるとともに、当該領域での電流の広がり抵抗をも小さくしなければならない。また半導体光素子のダウンサイジングに伴い、その電極面積も小さくなり、電流供給領域における電流密度が非常に高くなるため、当該領域の接触抵抗をさらに下げてなくてはならない。そして電流供給領域の接触抵抗低減により、駆動電圧の低下や発熱量の低下を図り、素子の消費電力の低下、ひいては高信頼化を実現する必要がある。これに対し、電流供給領域（通常、コンタクト層又はキャップ層と呼ばれる半導体層の接触抵抗は、さらに一桁から三桁位低減することが要請されるものと予想される。

【0009】従って、電流供給領域をMgドープのGaIn膜やAlInN膜で構成する従来の半導体光素子では、このような要請を満たすことが難しい。

【0010】一方、近年SiC（炭化珪素）基板上に有機金属化学蒸着法（MOCVD法）でC（炭素）を添加したAlN膜をエピタキシャル成長させ、サファイア（ $Al_2O_3$ ）基板上に成長させたCを添加しないAlN膜に比べて8桁低い抵抗率を測定した結果が、Topical Workshop on III-V nitrides（1995年9月、AbstractsB-8参照）で報告されている（この報告内容を以下、学会報告と称する）。この学会報告では、n型のSiC基板にpn接合されたCドープのp型AlN膜を開示するものの、Cドープのp型AlN膜の窒化物半導体光素子への応用並びにこれに伴う技術的な問題については具体的に論じていない。

【0011】本発明が解決しようとする課題は、電極層からの電流を活性層に供給する電流供給領域の電気抵抗値を、従来の限界とされる $0.005\Omega \cdot cm^2$ 以下、望ましくはこの値より一桁以上低い値とするに好適な構成を有する半導体光素子を提供することにある。

【0012】

【課題を解決するための手段】上述の課題は、発光層を有する第1半導体領域と、第1半導体領域上に積層され

た複数の半導体層からなる第2半導体領域と、第2半導体領域上に接合された金属電極層とを含み、第1半導体領域及び第2半導体領域はIII-V族化合物半導体により形成され、第2半導体領域は少なくともAl、Nを含む第1半導体層と、第1半導体層よりAl組成比の低い第2半導体層からなり、且つ第1半導体層にはCが添加されていることを特徴とする本発明の半導体発光素子により達成される。ここで、第1半導体領域とは、上述の光学領域、即ち光を発光する活性層を含む光学的に活性な領域（例えば、量子井戸層と活性層からなる単一又は多重量子井戸構造）に相当し、素子構造によってはこの光学的に活性な領域に隣接する光導波層も含まれる。第2半導体領域とは、上述の電流供給領域に相当し、キャップ層やコンタクト層と呼ばれる半導体光素子を発光又はレーザ発信させるための電流を供給する半導体層などを含んで構成される。

【0013】本発明の着想の根拠を、基板上部に上述の第1半導体領域と第2半導体領域を順次形成し、第2半導体領域上に金属層の電極を形成した半導体光素子を例に説明する。ここで、2つの半導体領域はともに窒化物半導体結晶からなるものとする。第2半導体領域の窒化物結晶層とこれに接合される金属電極との接触抵抗を下げるためには、金属層に接している窒化物結晶層のキャリア密度を高くする必要がある。現状ではp型窒化物結晶の正孔濃度はせいぜい $5 \times 10^{17} cm^{-3}$ 程度であるが、これを $1 \times 10^{18} cm^{-3}$ から $1 \times 10^{19} cm^{-3}$ に向上することが要請される。この要請に対し、本発明者は第2半導体領域を上述の学会報告に開示されたCドープp型AlN膜（炭素を添加したAlN層）で構成することを検討した。炭素を添加したAlN層は、高い正孔濃度を示すのでキャリア密度向上の点では有利である。しかし、この材料は禁制帯幅が大きいので、他の窒化物半導体結晶とヘテロ接合を形成すると接合界面でのバンドオフセットが大きくなり、却って電流が流れにくくなるという問題点を生ずる。GaAsとGaAlAsの禁制帯幅の関係からも類推されるように、第2半導体領域（電流供給領域）のAl組成比を高めると、伝導帯及び価電子帯がこの領域に流入する電子及び正孔をブロックするような形状となるからである。一方、AlNより禁制帯幅の小さいGaInNやInNへのC添加を検討したものの、AlNでみられた著しい抵抗率の低下は観測できず、従ってキャリア密度向上には半導体結晶中にAlNが存在することが必要であると判断した。

【0014】本発明者は、第2半導体領域（電流供給領域）におけるキャリア密度と禁制帯幅とのトレード・オフの関係を考慮した結果、この領域を少なくともAl、Nを含む第1半導体層と、第1半導体層に隣接し且つこれよりAl組成比の低い第2半導体層とで構成し、少なくとも第1半導体層にCを添加することを着想した。ここで第2半導体層は、Alを実質上含まないように構成

しても、A1を含めて構成してもよい。また後者の場合は、第2半導体層にCを添加してもよいが、その添加量は第1の半導体層と第2半導体層とのA1組成比の差異に合わせ、第1半導体層への添加量より少量にすると良い。この構成の特徴は、第1半導体層をこれより禁制帯幅の小さい(即ち、A1組成の低い)第2半導体層へキャリアを供給するキャリア供給層として機能させることにあり、これにより第2半導体領域全域の禁制帯幅を大きくすることなく、この領域中のキャリア密度を高める効果を奏する。

【0015】さらに本発明の効果を高めるにあたり、2通りの素子設計へのアプローチがある。1つは、第2半導体層がA1を実質上含まないように構成し、その層厚を第1半導体層より厚くすることである。このとき、第1半導体層の厚さは10nm以下(更に望ましくは、3nm以下)とするとよく、これにより第1半導体層をAlN層として構成しても、この層にトンネル電流が流れるため、禁制帯幅の大きさによる電流ブロック問題は回避される。第1半導体層の層厚が薄いほどトンネル電流は生じ易くなるが、その反面第2半導体層へのキャリア供給量が減少するので、作製すべき半導体光素子に許容される接触抵抗上限値に合わせてこの層厚を設定する。もう1つは、第2半導体層もA1を含めて構成し、望ましくはこの層にもCを添加することである。この場合、第2半導体領域全体でキャリア密度を高めることが可能となるが、第2半導体層の禁制帯幅が大きくなるため、第1半導体層をAlN層で構成したとき、この層に生じるトンネル電流量に限界があるという欠点もある。従って、この場合第1半導体層のA1組成を高めるには限界があるが、反面その厚さを第2半導体層より小さくすることは必ずしも要請されない。また半導体光素子に許容される接触抵抗上限値によっては、第2半導体層をA1を実質上含まないように構成してもよい。

【0016】さらに、第2半導体領域における広がり抵抗を下げるには、第1半導体層と第2半導体層を繰り返して積層させた多層膜としてこの領域を構成すると良い。例えば、この領域を炭素添加AlN層を多数組み込んだ超格子層として形成すると良い。また、第1半導体層と第2半導体層のA1組成や、夫々の層厚をを繰り返して毎に変化させてもよく、また夫々の組成、層厚を略一定として周期的に積層を繰り返しても良い。このような構成は、第2半導体領域における広がり抵抗低減のみならず、キャリア供給量の上昇の効果も奏する。また第1半導体層と第2半導体層のA1組成を繰り返して毎に徐々に変化させることで、この層間に生じるトンネル障壁を低減することもできる。

【0017】

【発明の実施の形態】既に述べたように、本発明の半導体光素子はp型の導電性を有する窒化物半導体結晶領域(第2半導体領域)の少なくとも表層(金属電極層が接

合される部分)又は表層近傍に炭素を添加したAlN層(または、これを含む組成の窒化物半導体層)を成長して構成される。この領域の表面に被着される金属電極層は、窒化物半導体結晶との接合領域のアロイ化(オーム接触に重要)の観点からAl,Ti,Ni,Cr,及びAuから選ばれた金属元素の単層あるいは多層膜とすることが望ましい。

【0018】また、この領域において炭素添加AlN層(上述の第1半導体層に相当)に隣接する窒化物半導体層(上述の第2半導体層に相当)をp-GaN又はp-GaInNとして構成すると、第1半導体領域への電流供給の抵抗を低減できる。このとき、金属電極層は第2半導体層を介して第2半導体領域に接合するとよい。このとき、金属電極層は第2半導体層を介して第2半導体領域に接合するとよい。第1半導体層及び第2半導体層の組成及び層厚の設定においては、これらの層間及び第1半導体領域との高姿勢号についても配慮し、隣接し合う半導体結晶間の格子定数差によっては層厚を制限する必要がある。

【0019】さらに、炭素添加AlN層に隣接するp型窒化物半導体層をp-GaN又はp-GaInNとし、これらの三種類の層から任意に選んで成る超格子層を形成し、その上に金属膜たる電極層を被着して構成しても良い。これらの炭素添加AlN層の膜厚は、この膜の成長方向に生じる正孔のトンネリングを可能とする程度に薄く形成するとよい。

【0020】このような設計指針に基づき構成された本発明の半導体光素子の望ましき実施態様に関し、以下の実施例と図面により、さらに詳細に説明する。

【0021】<実施例1>図1により本実施例を説明する。サファイア基板結晶11上にまづ有機金属気相成長法により窒化物結晶から成るヘテロ結晶層を形成する。具体的には結晶成長用の原料化合物としてトリメチルアルミニウム、トリエチルガリウム、トリメチルインジウムならびにアンモニアを用い、ドーピング用の原料にはモノシランとビスシクロペンタジエニルマグネシウムおよびイソプロパンを用いる。

【0022】まづ1020℃に加熱したサファイア基板結晶の上にアンモニアおよび水素或いは窒素をキャリアガスとしてトリエチルガリウムとモノシランを流し、電子濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ のn-GaN層12を約5 $\mu\text{m}$ 成長する。ついでアンモニア気流中で成長温度を750℃に下げながらトリエチルガリウムとトリメチルインジウムを流し、アンドープGaInN13を5nm成長する。再び温度を1020℃に上げてからトリエチルガリウムとビスシクロペンタジエニルマグネシウムに切り替え、正孔濃度 $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ のp-GaN層14を2 $\mu\text{m}$ 成長する。引き続いてアンモニア、トリメチルアルミニウム、イソプロパンにより正孔濃度 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 相当のp-AlN層15を3nm、さらに750℃にてマグネシウムをドーブしたp-GaInN層16を10nmつけて成長を終了する。

【0023】ここに得られたウエハを加工し、n電極17としてTi/Au、p電極18としてNi/Auを被着して発光ダイオードチップが完成する。このような構造のp電極の接触抵抗を標準的な手法であるTLM法で測定したところ、従来よりも低い $0.001\Omega \cdot \text{cm}^2$ 程度が得られた。

【0024】＜実施例2＞上記実施例1においてp-AlN層15をp-AlN(3nm)/p-GaInN(5nm)の10周期から成る超格子層にしたところ接触抵抗として $0.0005\Omega \cdot \text{cm}^2$ が得られた。この超格子構造の周期を更に増すことで、p電極の接触抵抗は低減する。さらに、p-AlN層の厚みを10nmに向けて徐々に増加させたとき、p-GaInNの膜厚をp-AlN層厚より大きく調整することで、接触抵抗の低減が図れた。

【0025】

【発明の効果】正孔濃度の高い炭素添加AlNの薄層を電

極金属の近傍に設けることにより、この層から正孔が隣接するp-GaInNやp-GaNに移動してこれらの層の正孔濃度を高くし、金属電極との接触抵抗を低下せしめることが可能となる。AlN層自体は十分薄いのでトンネル電流が流れ抵抗の増大をきたすことはない。したがって窒化物結晶からなるデバイスの動作電圧ならびに消費電力を低下することが出来、ひいては長寿命化も可能となる。

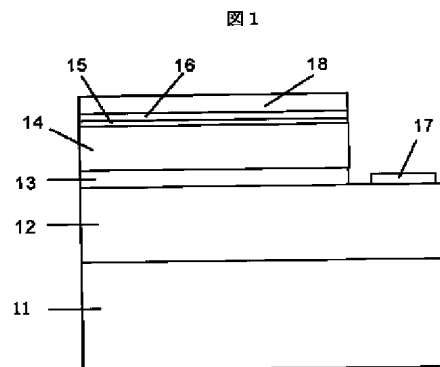
【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による発光ダイオードの断面を示す図である。

【符号の説明】

11…サファイア基板結晶、12…n-GaN層、13…アンドープGaInN層、14…p-GaN層、15…p-AlN層、16…p-GaInN層、17…n電極、18…p電極。

【図1】



フロントページの続き

(72)発明者 後藤 順  
東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地  
株式会社日立製作所中央研究所内